طراحی یک روش مسیریابی کارای پیام در شبکه‌های سیار اجتماعی با استفاده از گروه‌های اجتماعی

بهمن روایی* و کیوان رحیمی‌زاده
دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل در شبکه‌های سیار اجتماعی[1] طراحی روش جلورانی[2] پیامی است که دارای نرخ دریافت بالا و سربار ارتباطی پایین باشد. روش‌های جلورانی اغلب با افزایش تعداد نسخه‌های پیام سعی در بالابردن نرخ دریافت می‌کنند. افزایش تعداد نسخه‌های پیام از یک طرف باعث افزایش شانس تحویل پیام می‌شود و از سوی دیگر ممکن است، باعث ازدحام در شبکه و کاهش نرخ دریافت شود؛ بنابراین، محدودکردن تعداد نسخه‌های پیام و انتخاب گره‌های رله مناسب در راستای افزایش بهره‌وری شبکه و کاهش هزینه چالشی است که در این مقاله به آن می‌پردازیم. در این مقاله یک روش مبتنی بر گروه‌های اجتماعی[3] به نام MCCAF[4] برای جلورانی چندنسخه‌ای پیام‌ها ارائه می‌شود. این روش از مدل مخفی شبه‌مارکوف (HSMM[5]) برای یافتن گروه‌های اجتماعی استفاده می‌کند. بدین منظور گروه‌های اجتماعی به حالت‌ها در مدل مخفی شبه‌مارکوف مدل می‌شوند؛ سپس، احتمال گذار گره‌ها در میان گروه‌های اجتماعی محاسبه و پس از آن با درنظرگرفتن زمان انقضای پیام‌ها، با محاسبه گروه‌های اجتماعی آینده گره‌های رله و تعداد نسخه‌های منتشرشده از پیام، اقدام به انتخاب گره رله و جلورانی پیام می‌شود. روش MCCAF تعداد نسخه‌های موجود از یک پیام را در شبکه محدود و از انتشار سیل‌آسای پیام جلوگیری می‌کند. از طرفی این روش سعی می‌کند که به سمت تمامی گروه‌های اجتماعی که مقصد در آنها عضویت دارد نسخه‌ای از پیام را ارسال کند تا ضمن افزایش شانس تحویل موفقیت‌آمیز پیام، تأخیر در تحویل پیام را نیز کاهش دهد. نتایج ارزیابی بر روی داده‌های واقعی نشان‌دهندهٔ کارایی MCCAF نسبت به دیگر روش‌ها از جنبه‌های تأخیر، نرخ دریافت و هزینه جلورانی است.

واژگان کلیدی: جلورانی پیام، مسیریابی، شبکه‌های سیار اجتماعی، جلورانی چندنسخه‌ای، گروه اجتماعی، مدل مخفی شبه‌مارکوف

Design an Efficient Community-based Message Forwarding Method in Mobile Social Networks

Bahman Ravaei* & Keyan Rahimzadeh
Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

Abstract

Mobile social networks (MSNs) are a special type of Delay tolerant networks (DTNs) in which mobile devices communicate opportunistically to each other. One of the most challenging issues in Mobile Social Networks (MSNs) is to design an efficient message forwarding scheme that has a high performance in terms of delivery ratio, latency and communication cost. There are two different approaches for message forwarding: the single copy and the multi copy. In the single copy schemes, only one copy of a message exists in the network, which is carried by a custodian relay. On the other hand, in multi copy schemes more than one copy of the message exist. Although the multi copy schemes generally have

[1] Mobile Social Networks (MSNs)
[2] Forwarding
[3] Community
[4] Multi-Copy Community Aware Forwarding (MCCAF)
[5] Hidden Semi-Markov Model (HSMM)

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات
* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۹/۲۸ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۵ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۷ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

superior performance in terms of delivery ratio and latency, they incur high congestion in the network, which consequently degrades the network performance and increases message forwarding cost. Therefore, we present a scheme for managing the number of replica and selecting appropriate relays in order to increase the performance and decrease the forwarding cost.

In this paper, we present a novel message forwarding scheme, named Multi Copy Community Aware Forwarding (MCCAF), for managing the number of message replicas and selecting appropriate relays in order to increase the performance and decrease the forwarding cost. MCCAF only forwards one replica of message to each community that the destination node belongs to it. In order to find communities and nodes' future communities, MCCAF exploits a hidden semi-Markov model (HSMM). In the proposed method, hidden states represent communities and environmental chronological information such as location, visited nodes and access points are modeled as observation in HSMM. To have a more precise community prediction, the semi-Markov model is extended to compute the likelihoods of a node being in a particular community after N transitions. After that, appropriate relays are selected to forward a message with taking into account the message expiration time, future communities of relays and the number of message replica. Evaluation results on real traces demonstrate that the MCCAF has superior performance over rival schemes in terms of delivery ratio, latency, and forwarding cost. Specifically, MCCAF yields on average about 8% better delivery ratio and about 23% less delivery delay than the nearest rival method.

Keywords: Forwarding, routing, mobile social networking, multi copy, community, hidden semi-Markov model.

۱- مقدمه

شبکه‌های سیار اجتماعی دسته‌ای از شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر[1] هستند که در آنها ابزارهای سیار، که به‌طورمعمول ابزارهای هوشمند مانند تلفن‌های هوشمند هستند، به‌صورت فرصت‌طلابانه به ردوبدل‌کردن اطلاعات در میان خود می‌پردازند [1,2]. در این شبکه‌ها، ابزارها یا همان گره‌های سیار در میان گروه‌های اجتماعی حرکت می‌کنند. مقصود از گروه اجتماعی، گروهی از گره‌ها است که دارای ارتباطات اجتماعی بوده و در یک یا چند محل تجمع می‌کنند و در صورت تجمع، امکان ردوبدل‌کردن اطلاعات بدون تأخیر با هم را خواهند داشت [3]. در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر ارتباطات پیوسته میان گره‌های شبکه وجود ندارد [4-6]. نمونه‌ای از این شبکه‌ها، شبکه‌های بسیار سیار و شبکه‌های خودرودیی می‌باشند [7]. در این شبکه‌ها، فرصت‌های تبادل اطلاعات دائمی نیست و کارایی لینک‌ها نیز بسیار متغیر است و حتی ممکن است، هرگز یک مسیر انتها به انتها میان مبداء و مقصد وجود نداشته باشد [5].

با توجه به ویژگی‌های عدم وجود مسیر انتهابه‌انتها و کارایی لینک در شبکه‌های سیار اجتماعی، پروتکل‌های سنتی در محیط این شبکه‌ها کارایی نخواهند داشت. یک راه حل برای حل جلورانی و انتشار داده در این شبکه‌ها، استفاده از حرکت گره‌ها برای انتقال داده است بدین صورت که، داده‌ها در گره ذخیره شده و با حرکت گره حمل می‌شوند و درنهایت، جلورانی داده در نخستین فرصت و در پی ملاقات با دیگر گره‌ها انجام می‌گیرد [8].

[1] Delay tolerant networks (DTNs)

در جلورانی داده، پیام در طول مسیری که امیدوار به رسیدن به مقصد است، از بافر یک گره به بافر گره بعدی منتقل می‌شود. درواقع، شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر از سازوکار ذخیره-حمل-جلورانی[2] در گره‌های رله استفاده می‌کنند [3,4,9].

کاربردهای فراوانی برای این شبکه‌ها در توزیع اخبار، پخش تبلیغات کالا و سرویس [10-12]، شبکه‌های میان خودرویی [7,11,13]، انتشار اطلاعات نظامی در منطقهٔ جنگی [14] و اشتراک فایل به‌صورت نظیر به نظیر [15] وجود دارد. دسته‌ای از کاربردهای شبکه‌های سیار اجتماعی، در قالب مسأله جلورانی داده مطرح می‌شوند. در جلورانی، داده تنها برای یک مقصد منحصربه‌فرد ارسال می‌شود و دو رهیافت کلی برای آن وجود دارد: تک‌نسخه‌ای و چندنسخه‌ای. در روش‌های تک‌نسخه‌ای، تنها یک نسخه از پیام وجود دارد که در اختیار گره رله است. در روش‌های چندنسخه‌ای، بیش از یک نسخه از پیام در شبکه وجود دارد. روش‌های چندنسخه‌ای دارای کارایی بهتری از جنبه‌های نرخ دریافت و تأخیر هستند؛ امّا دارای سربار بیشتر بوده که نقطه ضعف آنها در مقابل روش‌های تک‌نسخه‌ای است.

یک راه معمول در روش‌های جلورانی برای انتخاب گره رله که به‌اصطلاح متولی پیام باشد، استفاده از معیار جلورانی[3] است، که نشان‌دهندهٔ محتمل‌بودن ملاقات رله با مقصد است [3,9,16]. تفاوت میان روش‌های جلورانی در معیار جلورانی و تعداد نسخه‌های پیام آن‌ها است. معیارهای جلورانی به‌طورمعمول از احتمال ملاقات مقصد

[2] Store-carry-forward
[3] Forwarding Metric

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

[16-18] یا تحلیل شبکه‌های اجتماعی [19-25] استفاده می‌کنند.

روش‌های برپایهٔ احتمال ملاقات مقصد، از تاریخچهٔ ملاقات‌های گذشته گره‌ها برای پیش‌بینی احتمال ملاقات‌های آیندهٔ آن‌ها استفاده می‌کنند. این احتمال‌ها برای درجه‌بندی مناسب‌بودن گره‌ها در حمل داده استفاده می‌شوند. یک پیام همواره به گره رله‌ای تحویل داده می‌شود، که دارای بالاترین احتمال ملاقات مقصد باشد. برای نمونه، PRoPHET [17] با ملاقات دو گره، احتمال ملاقات آنها را افزایش می‌دهد و با گذشت زمان از آخرین ملاقات اقدام به کاهش آن می‌کند. روش‌های برپایه احتمال از نظم در حرکت و الگوی ملاقات گره‌ها استفاده می‌کنند، ولی به‌علت اصلی این نظم که همان روابط اجتماعی میان گره‌ها است، دقت نمی‌کنند.

روش‌های اجتماعی بر روی ارتباطات اجتماعی میان گره‌ها متمرکز هستند. از آنجا که تجهیزات بی‌سیم توسط انسان‌ها حمل می‌شوند، به‌طورکامل منطقی است که مفهوم شبکه‌های اجتماعی در شبکه‌های تحمل‌پذیر تأخیر به‌منظور مطالعه تعاملات میان گره‌ها نیز مطرح شود [24]. بنابراین از آنجا که الگوی ملاقات اجتماعی انسان‌ها قابل اتکاتر است، لذا روش‌های پیشنهادشده براساس جنبه‌های اجتماعی دارای کارایی بالاتری هستند [5,6,22,25,26]. روش‌های جلورانی اجتماعی را می‌توان در سه دسته شباهت، مرکزیت و گروه اجتماعی دسته‌بندی کرد. در دسته گروه اجتماعی، شبکه‌ای از گره‌ها به شبکه‌ای از گروه‌های اجتماعی نگاشت و مسیریابی میان گره‌ها به مسیریابی میان گروه‌های اجتماعی تبدیل می‌شود. برای مثال در DTN-FLOW [12] و GreedyFlow [23]، گروه‌های اجتماعی تحت عنوان مکان با اهمیت[1] معرفی می‌شوند و داده‌ها را میان گروه‌های اجتماعی حمل می‌کنند. به‌عنوان یک نمونه دیگر PER [19]، از فرآیند شبه‌مارکوف برای پیش‌بینی حرکت آینده گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی استفاده می‌کند. به‌صورت کلی، با دقت و بررسی در روش‌های برپایه گروه‌های اجتماعی می‌توان به این نتیجه رسید که اغلب روش‌ها از جنبه‌های زیر دارای ایراد هستند:

- اغلب روش‌های موجود زمان ملاقات میان گره‌ها را در نظر نمی‌گیرند و تنها به احتمال ملاقات گره‌های مقصد توجه می‌کنند [19,20].
- روش‌های موجود براساس یک سری فرض‌های غیرواقعی بنا نهاده شده‌اند. برای نمونه، در روش‌های مبتنی بر گروه اجتماعی فرض بر این است که گروه‌های اجتماعی از قبل معلوم هستند و گره‌ها دانش مورد نیاز درباره گروه‌های اجتماعی را از قبل در اختیار دارند [19]. فرض دیگری که در بعضی از روش‌ها دیده شده است، وجود بافر ذخیرهٔ محتوا[2] در هر گروه اجتماعی برای ذخیره و بازیابی محتواها است [4,21,23,27,28]. درنهایت، بعضی از روش‌ها فرض می‌کنند که شبکه دارای ایستگاه‌های پایه یا گره‌های ثابت است که می‌توان در جلورانی از آن‌ها کمک گرفت [12].
- استفاده از اطلاعاتی که در محیط‌های واقعی در دسترس نیست، می‌تواند ایراد دیگر روش‌های موجود باشد. مانند موجودبودن کلیه اطلاعات گره‌های مقصد نزد گره‌های مبدأ و رله. به‌عنوان مثال روش PER [19] نیازمند دانستن فرآیند مارکوف گره‌های مقصد و گروه اجتماعی که گره مقصد در آن اقامت دارد، توسط گره رله است.

با توجه به ایرادهایی که در بالا بیان شد، ما یک روش نوین جلورانی پیام به نام جلورانی چندنسخه‌ای آگاه از گروه اجتماعی (MCCAF) ارائه می‌دهیم، که فرض‌های غیرعملی در طراحی آن وجود نداشته باشد و در طراحی آن به زمان ملاقات رلهٔ مقصد نیز توجه شده است. در این روش، پیام برای تمامی گروه‌های اجتماعی که گره مقصد در آن‌ها عضو است ارسال می‌شود. به عبارت دیگر، تمام گروه‌های اجتماعی که ممکن است محل حضور گره مقصد باشد یک نسخه از پیام به سمت آن‌ها ارسال می‌شود. با این کار احتمال تحویل موفقیت‌آمیز پیام و تأخیر تحویل پیام بهبود می‌یابد. لازمه پیاده‌سازی این روش کشف گروه‌های اجتماعی و تخمینی از زمان و احتمال حضور در گروه‌های اجتماعی توسط رله‌ها است. در روش MCCAF، خود گره‌ها گروه‌های اجتماعی را کشف می‌کنند. در روش ما، الگوریتم مدل مخفی شبه‌مارکوف (HSMM) [29] برروی اطلاعات تاریخچه‌ای از گره‌ها و نقاط دسترسی[3] ملاقات شده و موقعیت‌های مکانی اجرا می‌شود، تا احتمال‌های گذار میان گروه‌های اجتماعی و احتمال‌های ملاقات مقصدها در هر گروه اجتماعی محاسبه شود. خروجی HSMM برای گذار میان گروه‌های اجتماعی به‌صورت یک فرآیند شبه مارکوف است.

در این راه، احتمال‌های گذار مدل شبه‌مارکوف از

[1] Landmark

[2] Throw-box

[3] Access point

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

HSMM محاسبه می‌شوند. در دنیای واقعی، گره‌ها (افراد) در ساختمان‌های چندطبقه که در آنها دسترسی به سرویس GPS به‌تنهایی نمی‌تواند موقعیت مکانی را تعیین کند و بالطبع گره از این‌که در کدام گروه اجتماعی واقع شده است، بی‌اطلاع خواهد بود؛ اما، می‌توان تخمینی از گروه اجتماعی را به‌کمک گره‌ها، نقطه‌های دسترسی و موقعیت‌های مکانی حاصل از GPS در هر گروه اجتماعی به‌دست آورد؛ بنابراین، ما از این سه‌گانه اطلاعات شامل گره‌ها، نقاط دسترسی و موقعیت‌های مکانی بهره می‌بریم تا گروه‌های اجتماعی که گره در آن‌ها قرار گرفته‌اند، کشف شوند. به عبارت دیگر، گروه‌های اجتماعی توسط گره‌هایی که در آن قرار گرفته‌اند، به‌صورت مستقیم قابل مشاهده نیستند (برای گره‌ها مخفی هستند)، ولی می‌توان توسط یک مجموعه از مشاهدات آنها را تعیین شود؛ بنابراین، ما حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی را با HSMM مدل می‌کنیم. همچنین، هر گروه اجتماعی را با یک حالت مخفی و گره‌ها، نقطه‌های دسترسی ملاقات شده و موقعیت مکانی در واحد زمان را با یک مشاهده در HSMM مدل می‌کنیم. پس از کوانتایزکردن[1] مشاهدات، پارامترهای مدل مخفی شبه‌مارکوف توسط رویهٔ پیش‌رو-پس‌رو، آموزش داده می‌شوند. ما از این رویه احتمال گذار میان گروه‌های اجتماعی (به‌صورت فرآیند شبه‌مارکوف) و احتمال‌های ملاقات مقصد را به‌دست می‌آوریم.

پس از آن، مدل شبه مارکوف را گسترش می‌دهیم تا N گذار بعد را پیش‌بینی کند. در این راه، گروه‌های اجتماعی که گره رله در آینده در آن‌ها حضور خواهد داشت، پیش‌بینی می‌شوند. درصورتی‌که گره مقصد نیز عضو یکی از این گروه‌های اجتماعی باشد و از قبل به سمت این گروه اجتماعی نسخه‌ای از پیام ارسال نشده باشد (با توجه به تاریخچه جلورانی‌های انجام‌گرفته در نزد گره متولی)، نسخه‌ای از پیام به رله جدید تحویل داده می‌شود تا آن را به سمت گروه اجتماعی یادشده حمل کند. به اختصار، نوآوری‌های این مقاله عبارتند از:

- ارائه یک مدل جدید برای نمایش حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی و ملاقات گره‌ها در یک گروه اجتماعی با HSMM.
- پیشنهاد استفاده از مدل HSMM برای استخراج احتمال‌های گذار میان گروه‌های اجتماعی برای پیش‌بینی رفتار آینده گره و احتمال‌های ملاقات مقصد.
- پیشنهاد یک الگوریتم جلورانی که زمان انقضای پیام و زمان ملاقات رلهٔ مقصد را در نظر می‌گیرد.
- مدیریت هوشمند تعداد نسخه‌های ارسالی از هر پیام و ارسال نسخه‌ها تنها به سمت گروه‌های اجتماعی که گره مقصد در آن‌ها عضو است.
- بهبود نرخ دریافت پیام، کاهش تأخیر و هزینه جلورانی محتوا با انتخاب گره‌های رله به‌گونه‌ای که تمامی گروه‌های اجتماعی مقصد پوشش داده شوند.

سازمان‌دهی دیگر بخش‌های مقاله به‌صورت زیر است. در بخش ۲ کارهای مرتبط شرح داده شده‌اند. بخش ۳ به ارائه مدل سیستم، مدل‌کردن حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی با استفاده از HSMM و روش جلورانی پیشنهادی اختصاص داده شده است. بخش ۴ بر روی ارزیابی روش پیشنهادی MCCAF متمرکز است و درنهایت نتیجه‌گیری مقاله در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲- کارهای مرتبط

برای طراحی یک روش جلورانی اجتماعی کارا لازم است در ابتدا شناختی از روش‌های اجتماعی موجود داشته باشیم. از طرف دیگر لازم است که الگوی حرکت گره در شبکه‌های سیار اجتماعی را بدانیم. همچنین لازم است، مدل مخفی شبه‌مارکوف که در مدل‌سازی استفاده شده، مطالعه شود؛ بنابراین در ادامه به طرح این سه موضوع می‌پردازیم.

۲-۱- روش‌های جلورانی اجتماعی

روش‌های جلورانی اجتماعی، ضمن توجه به ریشه‌های اجتماعی ملاقات گره‌ها اقدام به کشف این الگوی منظم می‌کنند و از ویژگی‌های مختلف اجتماعی برای حل مسائل جلورانی بهره می‌برند. این ویژگی‌های اجتماعی به‌صورت کلی عبارتند از مرکزیت، شباهت و گروه اجتماعی مشترک.

روش‌های برپایه مرکزیت فرض می‌کنند که مهم‌ترین یا محبوب‌ترین گره که تعداد زیادی از گره‌های دیگر را ملاقات می‌کند، می‌تواند به‌عنوان یک رله مناسب برای جلورانی پیام‌ها برای مقصدها در نظر گرفته شود. نمونه‌هایی از روش‌های برپایه مرکزیت عبارتند از SimBet [30]، BUBBLE Rap [31]، DAS [32] و CDMS [33]. روش‌های برپایه مرکزیت، مستعد توزیع ناعادلانه بار شبکه و درنتیجه ازدحام شبکه هستند.

روش‌های برپایه شباهت فرض می‌کنند که گره‌ها با ویژگی‌ها یا علایق مشابه، تمایل بیشتری به ملاقات همدیگر، به نسبت دیگر گره‌ها دارند [34]؛ بنابراین، گره‌ای

[1] Quantize

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

که بیشترین ویژگی مشترک با مقصد را دارد، بهترین نامزد انتخاب به‌عنوان گره رله باشد. نمونه‌هایی از روش‌های برپایه شباهت عبارتند از FRRF [8]، SANE [22]، SimBet [30] و ENPSR [35]. یک نقطه ضعف اساسی روش‌های براساس شباهت، لزوم داشتن اطلاع از معیار شباهت گره مقصد است.

سومین دسته از روش‌های اجتماعی برپایه گروه اجتماعی هستند. یک گروه اجتماعی، مجموعه‌ای از گره‌ها است که گره‌های عضو آن به نسبت دیگر گره‌ها با احتمال بالاتری همدیگر را ملاقات می‌کنند و دارای علایق یا ویژگی‌های مشترک نیز هستند [3, 36]. اجتماعات انسانی (و بالطبع شبکه‌های سیار اجتماعی) شامل تعدادی گروه اجتماعی هستند. در روش‌های برپایه گروه اجتماعی، یک گره می‌تواند یک رله مناسب باشد، اگر با مقصد دست‌کم یک گروه اجتماعی مشترک داشته باشد. نمونه‌هایی از روش‌های برپایه گروه اجتماعی عبارتند از SACC [3]، SEBAR [6]، PER [19]، DTN-FLOW [21]، BUBBLE Rap [31] و CDMS [33].

روش‌های مطرح‌شده در مقالات مختلف اغلب ترکیبی از چند ایده مختلف هستند. به‌عنوان مثال SimBet ترکیب شباهت و مرکزیت و BUBBLE Rap ترکیب گروه اجتماعی و مرکزیت است. ترکیب ایده‌ها شامل ترکیب ایده‌های اجتماعی و احتمالاتی نیز شده است. به‌عنوان مثال در [37] از ترکیب فرآیند مارکوف و مرکزیت استفاده شده است. مرسوم‌ترین ترکیب استفاده از گروه‌های اجتماعی و فرآیندهای مارکوف است. در این روش‌ها حرکت میان گروه‌های اجتماعی به‌صورت حرکت میان حالت‌ها در زنجیره‌های مارکوف مدل می‌شوند؛ لذا حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی به‌کمک زنجیرهٔ مارکوف پیش‌بینی می‌شود و سپس مکان و گروه اجتماعی آینده گره‌ها می‌تواند برای به‌دست‌آوردن احتمال ملاقات گره‌ها در آینده مورد استفاده قرار گیرد. نمونه‌هایی از روش‌های ترکیبی گروه‌های اجتماعی و مارکوف عبارتند از PER [19]، DTN-FLOW [21]، GreedyFlow [23] و CDMS [33].

مقالات در استفاده از مارکوف به دو ایراد نیز اشاره کرده‌اند. نخست، مارکوف به زمان ملاقات رله و مقصد توجهی نمی‌کند؛ لذا، این عدم توجه به زمان باعث می‌شود که کارایی روش‌ها کاهش یابد [19]. دومین ایراد شامل دو جنبه استخراج زنجیرهٔ مارکوف به‌وسیلهٔ روش و لزوم اطلاع از زنجیرهٔ مارکوف گره مقصد به‌وسیلهٔ رله است.

برای رفع ایراد نخست، بعضی از روش‌ها به سراغ مدل شبه‌مارکوف رفته‌اند و زمان اقامت در گروه‌های اجتماعی را نیز لحاظ کرده‌اند [2,19]. برای حل ایراد دوم نیز راه‌کارهایی ارائه شده است. برای نمونه در روش DPD [20] که هدف از آن یافتن یک محتوای مطلوب و سپس تحویل آن به مقصد است، از مدل مخفی مارکوف برای استخراج مدل حرکت گره‌ها استفاده شده است. بعضی دیگر از روش‌ها، سعی در عدم مواجه با ایراد دوم داشته‌اند. برای نمونه، روش‌های GreedyFlow و DTN-Flow به جای تعیین یک گره به‌عنوان مقصد، بافرهای ذخیره محتوا در هر گروه اجتماعی را به‌عنوان مقصد نهایی در نظر گرفته‌اند؛ بنابراین، می‌توان گفت که هنوز ایراد لزوم اطلاع از زنجیرهٔ مارکوف حرکت گره مقصد در سناریوهای جلورانی و انتشار محتوا وجود دارد؛ درنهایت گفتنی است، اغلب روش‌های موجود که از پیش‌بینی و احتمال ملاقات استفاده کرده‌اند، دارای یک مرحلهٔ یادگیری با ناظر هستند [14,19,21,23] و یک موجودیت مرکزی به جمع‌آوری اطلاعات برچسب‌زده شده از گروه‌های اجتماعی اقدام می‌کند. ممکن است در تمامی سناریوها این اطلاعات موجود نباشد و از طرفی، این موجودیت جمع‌آوری‌کننده اطلاعات می‌تواند یک گلوگاه در زمان بروز خطا شود.

۲-۲- مدل حرکت گره‌ها

از آنجا که پایه و اساس روش‌های اجتماعی الگوی حرکت، ملاقات و تعاملات گره‌ها با یکدیگر است، لذا، در این بخش به بررسی الگوی حرکت، ملاقات و تعاملات گره‌ها می‌پردازیم. بعضی از مهمترین یافته‌های مقالات در این باره در ادامه بیان شده‌اند.

حرکت گره‌ها از روابط اجتماعی آنها سرچشمه می‌گیرد. گره‌هایی که دارای روابط اجتماعی با یکدیگر هستند، همدیگر را بیشتر ملاقات می‌کنند و این ملاقات‌ها در گروه اجتماعی مشترک انجام می‌گیرد [3]. گروه‌های اجتماعی بیش‌تر در یک مکان خاص تشکیل می‌شوند. برای مثال دانشجویان تحصیلات تکمیلی که بر روی یک پروژه کار می‌کنند، تشکیل یک گروه اجتماعی را در آزمایشگاه می‌دهند و بنابراین همدیگر را در آزمایشگاه یا همان گروه اجتماعی تشکیل‌شده در آزمایشگاه ملاقات می‌کنند [2]. گره‌ها ترجیح می‌دهند که عضو تعداد محدودی گروه اجتماعی باشند و اغلب وقت خود را در این گروه‌های اجتماعی سپری کنند [38]. گره‌ها دارای الگوی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

حرکت منظمی هستند و درصورت داشتن تاریخچهٔ کافی از حرکت گره‌ها در گذشته می‌توان حرکت آینده آنها را پیش‌بینی کرد [19,38].

به محض آنکه گرهی یک گروه اجتماعی را به‌عنوان مقصد بعدی انتخاب می‌کند، شروع به حرکت به سمت آن می‌کند. سرعت این حرکت وابسته به فاصله میان گروه اجتماعی آغازین و گروه اجتماعی نهایی است. برای نمونه، اگر مقصد نزدیک باشد، یک شخص به‌آرامی و با قدم‌زدن به سمت مقصد حرکت و اگر مقصد دور باشد با سرعت بیشتری که می‌تواند ناشی از خودرو، اتوبوس، مترو و یا دیگر وسایط نقلیه باشد به سمت مقصد حرکت می‌کند [39].

در پژوهش‌ها مرسوم است که حرکت گره را با یکی از نمونه‌های خانواده مارکوف مدل کنند [19,20,21,23,38]. به‌عبارت دیگر، حرکت گره میان گروه‌های اجتماعی دارای ویژگی مارکوف فرض می‌شود. بنابراین، مطالعات ما در پژوهش‌های مربوط به مدل حرکت نشان می‌دهد که مدل مارکوف می‌تواند برای مدل‌کردن حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی استفاده شود؛ بنابراین، ما می‌توانیم فرض کنیم که حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی دارای ویژگی مارکوف و هر گروه اجتماعی در حرکت گره معادل یک حالت در مدل مارکوف است. برخلاف مدل مارکوف، زمان اقامت یک گره در یک گروه اجتماعی دارای توزیع توانی[1] است (برخلاف مارکوف که نمایی است) [40-38]. با درنظرگرفتن این امر، می‌توان به این نتیجه رسید که حرکت گره‌ها میان گروه‌های اجتماعی از مدل شبه مارکوف پیروی می‌کند [19]؛ به علاوه، در اغلب محیط‌ها، مسیر حرکت گره‌ها غالبا مشخص است. به عبارت دیگر یک گره دارای یک طرح و الگوی حرکت است که حرکت گره میان گروه‌های اجتماعی در یک بازه زمانی طولانی مطابق با آن است [40]. برای نمونه، در یک محیط پردیس دانشگاهی، یک دانشجو میان خوابگاه، کلاس‌ها، آمفی‌تئاتر و استادیوم حرکت می‌کند. زمان اقامت در هر گروه اجتماعی و گذار میان گروه‌های اجتماعی دارای نظمی است که اغلب برقرار است. از آنجا که هر گره طرح و الگوی حرکت را برای یک دوره طولانی رعایت می‌کند (یک ترم برای دانشجوی درون پردیس دانشگاهی)، می‌توان فرض کرد که گره دارای یک الگوی حرکت ثابت است.

[1] Power-law

۲-۳- مدل مخفی شبه‌مارکوف

هسته HSMM دارای دو لایه است: یک لایه حالت‌های مخفی در فرآیند شبه‌مارکوف و یک لایه مشاهدات. در اینجا $i,j \in \mathbb{S}$ حالت‌های متوالی هستند و زمان اقامت در هر حالت $d_i \in \{1,2,...,D\}$ تنها وابسته به حالت فعلی و حالت بعدی است. زمان اقامت در فرآیند شبه‌مارکوف ممکن است از هر توزیعی پیروی کند. هسته شبه‌مارکوف برای یک فرآیند با $q_{i,j}(d_i)$ نمایش داده می‌شود. درواقع $q_{i,j}(d_i)$ احتمال گذار از حالت i به حالت j است وقتی که دورهٔ اقامت در حالت i دارای زمان d_i بوده است:

$$q_{i,j}(d_i) = \Pr\{s_{n+1} = j, T_{n+1} - T_n = d_i | s_n = i\} \qquad (۱)$$

وقتی که s_n و s_{n+1} به‌ترتیب حالت سیستم بعد از n امین و $(n+1)$ امین گذار را نشان می‌دهند. T_n و T_{n+1} زمان رخداد گذارهای n و $(n+1)$ هستند.

در مدل HSMM، توزیع اولیه حالت $i \in \mathbb{S}$ به‌صورت π_i نمایش داده می‌شود؛ به‌علاوه، در HSMM احتمال انتشار یا مشاهده e_k با $b_i(e_k)$ نمایش داده می‌شود و احتمال دنباله‌ای از انتشارهای $E_K = e_1, e_2, \dots, e_K$ به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$b_i(E_K) = \Pr\{o_n = e_1,\dots,e_K | s_n = i\} = \prod_{k=1}^{K} \Pr\{e_k | s_n = i\} = \prod_{k=1}^{K} b_i(e_k) \qquad (۲)$$

وقتی که o_n نشان‌دهندهٔ مشاهده‌های انجام‌گرفته در حالت مخفی s_n است. هر مشاهده حاوی دنباله‌ای از انتشارها به‌صورت $e_1, e_2, \dots, e_K$ است که:

$e_k \in E_K$ یک انتشار ممکن برای حالت $s_n = i$ است.

$E_K \subset E$ مجموعه‌ای از K انتشار متمایز است که در حالت مخفی s_n مشاهده شده‌اند.

$E = \{e_1,\dots,e_X\}$ مجموعه‌ای از همهٔ انتشارهای ممکن است؛ بنابراین، مجموعه پارامترهای HSMM را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$H = \{q_{i,j}(d), b_i(e_k), \pi_i\} \qquad (۳)$$

۲-۳-۱- آموزش مدل مخفی مارکوف

مدل مخفی شبه‌مارکوف دارای یک مدل عمومی و استاندارد است که هیچ فرض و قید محدودکننده‌ای بر روی گذار حالت‌ها، توزیع زمان اقامت و توزیع مشاهدات ندارد. در مدل عمومی گذار میان دو حالت i و j به‌صورت

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

$(i,d_i)\rightarrow(j,d_j)$ نشان داده می‌شود و دارای احتمال $q_{(i,d_i)(j,d_j)}$ است، که مقادیر d_i و d_j به‌ترتیب زمان اقامت در حالت i و j هستند. در مدل عمومی زمان اقامت در حالت j وابسته به حالت قبل و زمان اقامت در حالت قبل است.

ما در کار قبلی [43] از مدل عمومی HSMM استفاده کردیم، امّا استفاده از مدل عمومی با توجه به پیچیدگی محاسباتی آن سربار زیادی به گره‌ها تحمیل می‌کرد؛ لذا در این مقاله یکی از روش‌های خاص مدل مخفی مارکوف را استفاده می‌کنیم، که دارای فرض‌های ساده کننده به‌منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی مدل است. مدل استفاده‌شده در این مقاله فرض می‌کند که زمان اقامت در حالت فعلی وابسته به حالت فعلی و حالت قبل است. به عبارت دیگر زمان اقامت فعلی مستقل از زمان اقامت حالت قبلی است. در ادامه آموزش این مدل آورده شده است.

نمادها و فرمول‌های زیر برای گره رله r تعریف شده‌اند و برای سادگی نماد r از تمامی رابطه‌ها حذف شده است. هدف از آموزش مقداردهی مناسب مقادیر پارامترهای $H=\{q_{i,j}(d),b_j(e_k),\pi_i\}$ است تا احتمال $\Pr(E_T\mid H)$ را بیشینه کند. وقتی که $E_T=e_1,\ldots,e_T$ دنباله‌ای از مشاهدات در دوره‌های زمانی ۱ تا T است؛ همچنین، آموزش HSMM به‌وسیلهٔ رویه پس‌رو-پیش‌رو انجام می‌شود که دارای دو متغیر اساسی پیش‌رو و پس‌رو [29] است. احتمال‌های پیش‌رو به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha_t(j,d)=\Pr[S_{[t-d+1:t]}=j,e_1,e_2,\ldots,e_t\mid H] \qquad (۴)$$

وقتی که $S_{[t-d+1:t]}=j$ به معنای حضور در حالت j با زمان اقامت d است که از زمان $t-d+1$ شروع و در زمان t پایان می‌یابد. احتمال‌های پیش‌رو از رابطهٔ زیر (به‌صورت بازگشتی) محاسبه می‌شوند؛

$$\alpha_t(j,d)=\left[\sum_{i\in S\setminus\{j\}}\sum_{d'\le D}\alpha_{t-d}(i,d').q_{i,j}(d')\right]\prod_{\tau=0}^{d-1}b_j(e_{t-\tau}) \qquad (۵)$$

متغیرهای احتمال پس‌رو به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$\beta_t(j,d)=\Pr\left[e_{t+1},\ldots,e_T\mid S_{[t-d+1:t]}=j,H\right] \qquad (۶)$$

همانند احتمال‌های پیش‌رو، احتمال‌های پس‌رو نیز به‌صورت بازگشتی محاسبه می‌شوند.

$$\beta_t(j,d)=\sum_{i\in S\setminus\{j\}}\sum_{d'\le D}q_{j,i}(d).\beta_{t+d'}(i,d').\prod_{\tau=1}^{d'}b_i(e_{t+\tau}) \qquad (۷)$$

بنابراین فرمول‌های تخمین توزیع حالت اولیه π_i، احتمال‌های گذار $q_{i,j}(d)$ و احتمال‌های انتشار $b_j(e_k)$ به‌کمک روابط پس‌رو و پیش‌رو به‌سادگی قابل محاسبه هستند. جزئیات محاسبه این روابط در کار قبلی ما [43] بیان شده‌اند و از ذکر آنها در اینجا خودداری می‌کنیم.

۳- روش پیشنهادی جلورانی چندنسخه‌ای

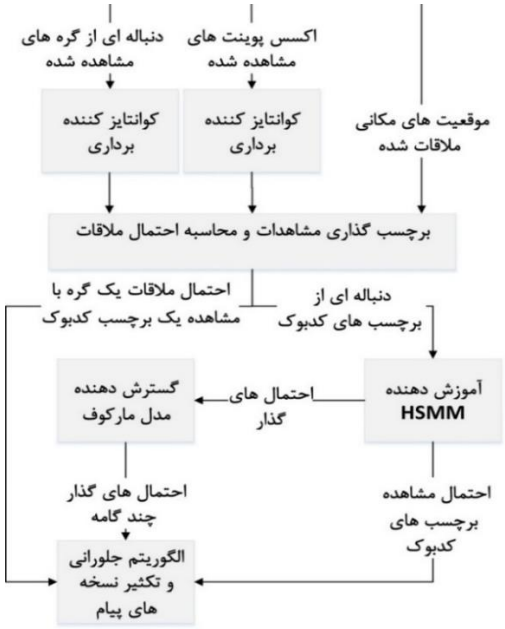
در این مقاله با هدف افزایش نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام و کاهش متوسط تأخیر یک روش جلورانی چندنسخه‌ای را پیشنهاد می‌دهیم. طراحی و پیاده‌سازی این روش براساس این واقعیت است که در دنیای واقعی هر گره عضو چند گروه اجتماعی است؛ بنابراین در روش پیشنهادی، سعی بر این است که پیام برای تمام گروه‌های اجتماعی که گره مقصد بخش عمده‌ای از زمان خود را در آنها سپری می‌کند، ارسال شود. با انجام این کار احتمال رساندن موفقیت‌آمیز پیام افزایش می‌یابد و از طرفی تأخیر در تحویل پیام به مقصد نیز کاهش می‌یابد. پیاده‌سازی این ایده نیازمند دانستن گروه‌های اجتماعی گره مقصد، پیش‌بینی گروه‌های اجتماعی آینده گره‌های رله، زمان و احتمال ملاقات با گره‌های مقصد است.

ما در این بخش روش پیشنهادی خود را معرفی می‌کنیم، که نیاز به یک موجودیت مرکزی نداشته باشد و با حداقل اطلاعات موجود در تمامی سناریوها کار می‌کند. این اطلاعات عبارتند از اطلاعات مکانی ثبت‌شده به‌وسیلهٔ گره، نقاط دسترسی در دسترس و فهرستی از گره‌های ملاقات شده در گذر زمان.

بنابراین، طراحی الگوریتم پیشنهادی شامل چند بخش می‌شود. بخش نخست شامل به‌دست‌آوردن مدلی برای پیش‌بینی حرکت گره‌ها است. بدین منظور حرکت گره در میان گروه‌های اجتماعی به‌صورت گذار میان حالت‌ها در فرآیند مارکوف مدل می‌شود. از سوی دیگر از آنجا که حرکت میان گروه‌های اجتماعی دارای توزیع توانی است و گروه‌های اجتماعی از قبل مشخص نشده‌اند و به عبارت دیگر به‌صورت مستقیم برای گره‌ها قابل مشاهده

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

نیستند از مدل مخفی شبه‌مارکوف برای مدل‌سازی حرکت گره‌ها استفاده کرده‌ایم. بخش دوم شامل گسترش مدل شبه‌مارکوف به یک مدل است که احتمال حضور در گروه‌های اجتماعی و ملاقات گره‌های مقصد پس از چندگذار را فراهم می‌کند. در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب گره‌های رله و شیوه توزیع نسخه‌های پیام شرح داده شده است.



(شکل-۱): نمای کلی روش پیشنهادی MCCAF

(Figure-1): Overview of proposed method MCCAF

کلیات روش پیشنهادی در شکل (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که شکل نمایش می‌دهد، در گام نخست دنباله‌ای از مشاهدات شامل اطلاعات مکانی، نقاط دسترسی و گره‌های مشاهده‌شده به بلوک کوانتایزکنندهٔ برداری تحویل داده می‌شود. کوانتایزکنندهٔ برداری، اقدام به کوانتایزکردن مشاهده‌ها در قالب مجموعه‌ای از کدوردها[1] می‌کند؛ سپس به‌منظور تسهیل استفاده از کدوردها در مدل مخفی شبه‌مارکوف، به هر کدام از کدوردها یک برچسب کدورد اختصاص می‌یابد. بلوک برچسب‌گذاری، در کنار مشخص‌کردن برچسب‌ها، احتمال ملاقات یک گره با مشاهده یک برچسب ($\Omega(m,e_x)$) را نیز محاسبه می‌کند.

پس از به‌دست‌آوردن برچسب‌ها، آنها را به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل مخفی شبه‌مارکوف به‌کار می‌بریم. خروجی آموزش‌دهندهٔ HSMM شامل احتمال‌های گذار و احتمال‌های مشاهده برچسب‌های کدبوک است. احتمال‌های گذار به بلوک گسترش‌دهندهٔ مارکوف فرستاده می‌شوند که این بلوک نیز به نوبه خود اقدام به محاسبهٔ احتمال‌های گذار چندگامه می‌کند.

(جدول-۱): شرح متغیرها و توابع

(Table-1): Variables and functions descriptions

متغیر/ تابع	توضیحات
$\mathbb{S}$	مجموعه گروه‌های اجتماعی یا حالت‌ها
σ	تعداد گروه‌های اجتماعی
$\mathbb{S}^r$	گروه‌های اجتماعی که گره r ملاقات می‌کند
Λ	مجموعه گروه‌های اجتماعی مشترک میان گره رله بالقوه و مقصد
s_n	گروه اجتماعی یا حالت سیستم بعد از n امین گذار
$\mathrm{T_n}$	زمان رخداد گذار n ام
$\mathrm{S_c}$	گروه اجتماعی که گره رله r_c متولی آن است
Δ	لیست گروه‌های اجتماعی دارای متولی
$\mathbb{M}$	مجموعه گره‌های شبکه
m	گره مقصد
H	پارامترهای مدل مخفی شبه مارکوف
π	توزیع اولیه حالت
$HSMM()$	تابع آموزش مدل مخفی شبه مارکوف
L	تعداد برچسب‌های کدورد
O_t	یک مشاهده شامل گره‌ها، نقاط دسترسی و موقعیت‌های مکانی
$VQ()$	تابع کوانتایز کننده
E	مجموعه‌ای از همه‌ی انتشارهای ممکن
E_K	دنباله‌ای از K انتشار متمایز است
e_x	یک برچسب کدورد
$b_i(e_x)$	احتمال مشاهده برچسب e_x در حالت i
$\Omega(m,e_x)$	احتمال ملاقات گره m با مشاهده برچسب e_x
D	حداکثر زمان اقامت گره‌ها در یک گروه اجتماعی یا حالت
$\mathrm{d_i}$	زمان اقامت در حالت i
$q_{i,j}(d)$	احتمال گذار میان حالت‌ها
$\Phi_{i,j}(t,N)$	تابع گذار چندگامه میان حالت ها
$\Gamma()$	تابع محاسبه گذار چندگامه
$\alpha_t(j,d)$	احتمال پیش‌رو
$\beta_t(j,d)$	احتمال پس‌رو
$S_{[t-d+1:t]}$	حالت از زمان $\mathrm{t-d+1}$ تا زمان t
$q^r_{i,j}(t,N)$	هسته گذارهای N-گامه حرکت گره r
$\boldsymbol{q}^r(d)$	ماتریس گذار شبه مارکوف گره r
$Q^r(t,N)$	ماتریس گذار N-گامه
$\aleph$	حداکثر تعداد نسخه‌ی پیام‌ها
ρ_c	تعداد نسخه‌های مجاز برای گره رله $\mathrm{r_c}$
φ	مقدار آستانه‌ای برای احتمال ملاقات مقصد
λ	نرخ تولید پیام
Θ	میزان بافر هر گره

درنهایت آخرین بلوک که جلورانی آگاه از گروه اجتماعی است، سه‌گانه اطلاعات که عبارتند از احتمال‌های گذار چندگامه، احتمال‌های مشاهده برچسب‌های کدبوک و احتمال‌های ملاقات یک گره با مشاهده یک برچسب کدبوک را دریافت می‌کند. بلوک جلورانی آگاه از گروه اجتماعی با استفاده از این سه احتمال، اقدام به محاسبهٔ

[1] Codeword

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

معیار جلورانی می‌کند. الگوریتم (۱) نیز کارکرد کلی روش پیشنهادی را بیان می‌کند. کلیه متغیرها و توابع به‌کاررفته در روش پیشنهادی در جدول (۱) شرح داده شده‌اند.

Algorithm 1 Training for MCCAF Forwarding method

Input: σ, L, $\{o_1,o_2,o_3,...,o_t\}$

1: $\{e_x\},\{\Omega(m,e_x)\}=VQ(\{o_1,o_2,o_3,...,o_t\});$

2: $q_{i,j}(d),b_j(e_x)=HSMM(\delta,L,\{e_x\});$

3: $\phi_{i,j}^{r}(t,N)=\Gamma(q_{i,j}(d));$

در اینجا لازم است که فرضیات مسأله بیان شوند. شبکه مفروض، یک شبکه بسته است. به عبارت دیگر گره‌های موجود در شبکه ثابت هستند و گرهی از شبکه حذف یا به آن اضافه نمی‌شود. تعداد گروه‌های اجتماعی که یک گره در آن عضو است از قبل مشخص است. آموزش مدل مخفی شبه مارکوف نیازمند یک‌سری اطلاعات اولیه است و یکی از آیتم‌های داده اولیه، داشتن تعداد حالت‌ها (گروه‌های اجتماعی) است؛ لذا دانستن تعداد گروه‌های اجتماعی از الزامات کارکرد این روش است. در سناریوهای واقعی، راه‌های متفاوتی برای به‌دست‌آوردن تعداد گروه‌های اجتماعی وجود دارد که می‌توان به شمارش نقاط دسترسی یا الگوریتم‌های کشف گروه‌های اجتماعی [36,41] اشاره نمود.

۳-۱- مدل سیستم

در اینجا ما روشی را ارائه می‌دهیم که از ترکیبی از اطلاعات مختلف برای یافتن گروه‌های اجتماعی بهره ببرد. از آنجا که گروه‌های اجتماعی به‌صورت مستقیم قابل مشاهده نیستند، ما گروه اجتماعی فعلی را به‌کمک اطلاعات موقعیت مکانی، نقاط دسترسی در دسترس و گره‌های مشاهده شده در گروه اجتماعی تعیین می‌کنیم؛ لذا، ما گروه‌های اجتماعی را با حالت‌ها در HSMM مدل می‌کنیم؛ سپس حرکت میان گروه‌های اجتماعی به‌صورت گذار میان حالت‌های مختلف مدل می‌شود؛ اما گروه اجتماعی را نمی‌توان به‌تنهایی از اطلاعات مکانی به‌دست آورد؛ زیرا اغلب گروه‌های اجتماعی در فضای داخل ساختمان‌ها هستند و سرویس GPS با توجه به ضعف سیگنال به‌خوبی کار نمی‌کند و از طرفی ممکن است، موقعیت مکانی چندین گروه اجتماعی بر هم منطبق باشند (به‌خصوص در ساختمان‌های چندطبقه) و حتی فرض حرکت یک گروه اجتماعی نیز صحیح است. یعنی افرادی که یک گروه اجتماعی را تشکیل می‌دهند، وابسته به هیچ موقعیت مکانی خاصی نباشند. در بعضی مواقع نیز با توجه به خاموش‌بودن سرویس GPS بر روی ابزار هوشمند این اطلاعات در دسترس نیستند. از طرف دیگر نقطه دسترسی می‌تواند به به‌دست‌آوردن گروه اجتماعی کمک کند، ولی این نوع از اطلاعات نیز همیشه در دسترس نیست. راه حل سوم می‌تواند به‌دست‌آوردن گروه‌های اجتماعی از گره‌های مشاهده شده در هر گروه اجتماعی باشد.

بنابراین، ما از HSMM برای تعیین الگوی حرکت گره‌ها و سپس استفاده از این الگو برای پیش‌بینی زمان و طول ملاقات‌های رله-مقصد بهره برده‌ایم. باید اضافه کرد که HSMM را می‌توان به‌وسیلهٔ شیوه‌های بدون ناظر آموزش داد [29]؛ بنابراین می‌توان احتمال‌های گذار و ملاقات گره‌ها را به‌کمک این مدل استخراج کرد. گفتنی است، رویه آموزش HSMM نیازمند یک دنباله از مشاهدات است که باید دارای ساختار اجتماعی و حرکت گره‌ها دارای یک الگوی تقریبا ثابت در یک دوره طولانی باشد.

۳-۱-۱- مدل سیستم براساس HSMM

در این بخش، ما فرض کرده‌ایم که شبکه از M گره $\mathrm{M}=\{1,2,\ldots,M\}$ تشکیل شده است و گره‌های مبدأ، پیام را برای مقصدها ارسال می‌کنند. گره‌های رله مسئول رساندن پیام‌ها به مقصدها هستند. مبدأ، گره‌های رله متولی را براساس احتمال ملاقات میان رله-مقصد انتخاب می‌کند. ما احتمال ملاقات رله-مقصد را در گروه‌های اجتماعی مختلف محاسبه می‌کنیم؛ بنابراین، گره رله باید احتمال‌های گذار میان گروه‌های اجتماعی و احتمال‌های ملاقات با دیگر گره‌ها را بداند.

فرمول‌بندی و مدل سیستم که در ادامه معرفی می‌شود، برای گره رله r ($r \in \mathbb{M}$) انجام شده است. ما حرکت رله‌ها را به‌وسیلهٔ یک مدل زمان گسسته مدل می‌کنیم. هر گروه اجتماعی به‌وسیلهٔ یک حالت در مدل نمایش داده می‌شود. حرکت میان گروه‌های اجتماعی برای شبه‌مارکوف یک گره رله، درعمل معادل با گذار میان حالت‌های مختلف در مدل شبه‌مارکوف است و کل شبکه از تعدادی گروه اجتماعی همسایه تشکیل شده است. به عبارت دیگر، هر گره همواره در یک گروه اجتماعی مشخص قرار دارد و زمان گذار میان گروه‌های اجتماعی صفر در نظر گرفته شده است. این فرض از واقعیت چندان دور نیست، زیرا به‌طورمعمول هر شخص یک زمان کوتاه را

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

برای رسیدن به خانه یا محل کار سپری می‌کند و سپس زمانی به نسبت طولانی‌تری را در آنجا می‌ماند. یک فرض دیگر این است که گره‌ها دست‌کم یک واحد زمانی را در هر حالت (گروه اجتماعی) سپری می‌کنند. به عبارتی، این امر که یک گره پیش از یک گذار را در یک واحد زمانی انجام دهد، غیر ممکن است؛ بنابراین، این فرض به‌صورت $q_{i,j}^{r}(0)=0$ بیان می‌شود؛ به‌علاوه، اگر حرکت گره با HSMM مدل شود، آنگاه هر گروه اجتماعی معادل یک حالت مخفی در HSMM است؛ بنابراین، گروه‌های اجتماعی که گره r ملاقات می‌کند با مجموعه حالت‌های مخفی $\mathrm{S}^{\mathrm{r}}=\{1,2,\ldots,S^{r}\}$ در HSMM متناظر با گره r نمایش داده می‌شوند. ما فرض می‌کنیم که بیشینه زمان اقامت گره r در یک گروه اجتماعی، D واحد زمانی است؛ بنابراین زمان اقامت یک عدد صحیح از مجموعه $\{1,2,\ldots,D\}$ است. اگر گره r از گروه اجتماعی $i\in\mathbb{S}^{r}$ با زمان اقامت d به گروه اجتماعی $j\in\mathbb{S}^{r}$ برود، آنگاه حرکت گره می‌تواند با یک گذار در زنجیرهٔ مارکوف نمایش داده می‌شود. همچنین، احتمال گذار به حالت j در گام بعدی، اگر حالت فعلی i با زمان اقامت d باشد به‌صورت $q_{ij}^{r}(d)$ نمایش داده می‌شود.

گره رله r در هر گروه اجتماعی، در صورت موجودبودن اطلاعات موقعیت مکانی، نقاط دسترسی در دسترس و گره‌های ملاقات‌شده را ثبت می‌کند؛ سپس اطلاعات ثبت‌شده به‌عنوان مشاهدات در HSMM استفاده می‌شوند. گفتنی است که استفاده مستقیم از اطلاعات ثبت‌شده به‌عنوان مشاهدات در HSMM امکان‌پذیر نیست و طی فرآیند کوانتایزکردن به برچسب‌های کدبوک تبدیل می‌شوند؛ زیرا گره‌های ملاقات‌شده و نقاط دسترسی در دسترس به‌صورت برداری از اطلاعات خواهند بود و استفاده از این بردارها به‌عنوان مشاهده در مدل مخفی مارکوف امکان‌پذیر نیست و قبل از استفاده از آن‌ها به‌عنوان مشاهده باید از الگوریتم‌های کوانتایز برداری استفاده شود تا به برچسب‌های کدبوک تبدیل شوند. این برچسب‌های کدبوک قابل استفاده به‌عنوان مشاهدات در HSMM هستند.

از آنجا که مشاهده‌های یک گره از محیط اطراف خود در قالب یک بردار نمایش داده می‌شوند، یک الگوریتم کوانتایز برداری [42] برای نگاشت بردارها به کدوردها استفاده شده است؛ بنابراین، گره‌ها و نقاط دسترسی ملاقات‌شده که در قالب بردارها هستند، تبدیل به کدبوک‌ها می‌شوند. مقادیر موقعیت‌های مکانی نیز به‌صورت صد متری گرد می‌شوند تا حرکت‌های مختصر به‌وسیلهٔ یک گره نادیده گرفته شوند؛ سپس جدولی از این سه‌گانه اطلاعاتی تولید می‌شود و به هر سطر این جدول یک برچسب مشخص‌کننده یا شاخص تعلق می‌گیرد که با E نمایش داده می‌شود (گفتنی است که این برچسب‌ها به‌عنوان انتشارها در مدل HSMM به کار می‌روند. لذا از همان نمادی که برای نمایش انتشارها استفاده شده بود، برای نمایش برچسب‌ها نیز بهره برده‌ایم). گره‌های رله در کنار ثبت اطلاعات مشاهدات اقدام به محاسبه احتمال ملاقات گره مقصد m با مشاهده برچسب e_x نیز می‌کنند، که آن را به‌صورت $\Omega(m,e_x)$ نمایش می‌دهیم؛ سپس از این برچسب‌ها به‌عنوان انتشار در آموزش HSMM استفاده خواهد شد.

۳-۲- گسترش مدل مارکوف به مارکوف مرتبه N

پیش‌بینی گروه‌های اجتماعی آینده گره رله و زمان حضور گره رله در آنها نیازمند درنظرگرفتن حرکت گره‌های رله بعد از چند گذار میان گروه‌های اجتماعی است؛ زیرا یک گره رله ممکن است، بعد از چندین گذار وارد یک گروه اجتماعی شود و این امر باید در محاسبه معیار جلورانی در نظر گرفته شود.

برای پیش‌بینی دقیق حرکت گره، هسته مدل شبه‌مارکوف باید برای پیش‌بینی گذارهای N-گامه توسعه یابد؛ زیرا در بعضی از سناریوها گره رله باید پس از چندین گذار وارد یک گروه اجتماعی شود که مقصد در آن واقع شده است. باید یادآور شویم، که یافتن احتمال ملاقات رله-مقصد در گذارهای چندگامه کاری سخت و پیچیده است، مگر آنکه در ابتدا هسته شبه‌مارکوف را به یک هسته مارکوف چندگامه یا مرتبه N تبدیل کنیم؛ لذا، ما هسته شبه‌مارکوف را برای پیش‌بینی مکان گره‌ها پس از N-گذار توسعه داده‌ایم [44]. برای این توسعه از فرض سپری‌کردن دست‌کم یک واحد زمانی توسط گره‌ها در حالت‌ها استفاده شده است. نتیجه مستقیم این فرض عبارت است از اینکه کمینه واحدهای زمانی برای اجرای N-گذار، $d=N$ است. با استفاده از این فرض، هسته گذارهای N-گامه برای پیش‌بینی حرکت گره r به‌صورت زیر خواهد بود:

$$q_{i,j}^{r}(t,N)=Pr\{S_{n+N}=j,T_{n+N}-T_n=t\mid S_n=i\} \quad (۸)$$

برای محاسبه $q_{i,j}^{r}(t,N)$، ما اقدام به تعریف ماتریس گذار شبه‌مارکوف $\boldsymbol{q}^{r}(d)$ به‌صورت $\boldsymbol{q}^{r}(d)=\boldsymbol{q}^{r}(d,1)=\{q_{i,j}(d)\}$

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

می‌کنیم. سپس $q_{i,j}^{r}(t,N)$ با رابطهٔ بازگشتی زیر برای ماتریس گذار N-گامه شبه‌مارکوف $\boldsymbol{q}^{r}(t,N)=\{q_{i,j}^{r}(t,N)\}$ تعریف می‌شوند:

$$\boldsymbol{q}^{r}(t,N)=\sum_{\tau=N-1}^{t-1}\boldsymbol{q}^{r}(\tau,N-1)\boldsymbol{q}^{r}(t-\tau) \qquad (۹)$$

متعاقبا، ماتریس گذار N-گامه $Q^{r}(t,N)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{Q}^{r}(t,N)=\sum_{\tau=N}^{t}\boldsymbol{q}^{r}(\tau,N) \quad for\ t\geq N\geq 2 \qquad (۱۰)$$

درنهایت، ماتریس چندگذار برای بیشینه N-گذار به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\phi^{r}(t,N)=\sum_{n=1}^{N}\boldsymbol{Q}^{r}(t,n), \qquad (۱۱)$$

وقتی که $\phi_{i,j}^{r}(t,N)$ حاوی مقدار احتمال حرکت گره r از حالت i به حالت j پس از N گذار یا کمتر باشد و همچنین از زمان ورود به حالت i تا زمانی که در حالت j است، t واحد زمانی سپری شده باشد. با توجه به روابط بالا می‌توان اقدام به محاسبه احتمال ملاقات مقصد m توسط گره r در گروه اجتماعی j کرد.

$$\Pr(r,m,j)=\sum_{e_x}\Omega(m,e_x)b_j^{r}(e_x)\sum_{t=1}^{TTL}\phi_{i,j}^{r}(t,N) \qquad (۱۲)$$

۳-۳- روش چندنسخه‌ای جلورانی محتوا

به‌منظور افزایش نرخ دریافت در روش پیشنهادی MCCAF، چندین نسخه از پیام‌ها در شبکه منتشر می‌شود، ولی برای جلوگیری از پخش سیل‌آسا تعداد نسخه‌ها به حداکثر $\aleph$ نسخه محدود شده است. برای سادگی فرض کرده‌ایم که هر گره رله متولی، تنها یک گروه اجتماعی مشترک با مقصد دارد و هدف از انتخاب این گره رله، رساندن پیام به گروه اجتماعی یادشده است. این گروه اجتماعی به نام «گروه اجتماعی دارای متولی» نام‌گذاری می‌شود و برای گره متولی r_c به‌صورت S_c نمایش داده می‌شود. با تولید هر پیام، گره مبدأ نقش گره متولی r_c را بازی خواهد کرد و محتمل‌ترین گروه اجتماعی که ممکن است، ملاقات گره مبدأ و گره مقصد m در آن رخ دهد با رابطه زیر پیدا و به‌عنوان گروه اجتماعی دارای متولی (S_c) انتخاب می‌شود.

$$S_c=\arg\max_{j}(\Pr(r_c,m,j)) \qquad (۱۳)$$

از آنجا که روش پیشنهادی سعی بر این دارد که حمل پیام به سمت تمام گروه‌های اجتماعی گره مقصد انجام شود؛ بنابراین فهرست گروه‌های اجتماعی دارای متولی که گره رله‌ای برای آنها پیام را حمل می‌کند با Δ نشان داده می‌شوند و در ابتدای کار با تولید هر پیام $\Delta=\{S_c\}$ مقداردهی اولیه می‌شود. هر گره رله متولی مجاز به انتشار تعداد مشخصی از نسخه‌های پیام است. این تعداد نسخه‌های مجاز برای گره رله r_c با ρ_c نمایش داده می‌شود. به‌عبارتی، گره می‌تواند ρ_c نسخه از پیام را به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم (به‌وسیلهٔ دیگر گره‌های رله) انتشار دهد. در ابتدای کار با تولید پیام، تنها گره رله متولی مبدأ است و تعداد نسخه مجاز به صورت $\rho_c=\aleph$ مقداردهی اولیه می‌شود. اگر مقدار تعداد نسخه مجاز (ρ_c) یک گره رله بیش از یک باشد به معنای این است که گره امکان ایجاد نسخه‌های جدیدی از پیام را دارد، ولی اگر مقدار $\rho_c\leq 1$ باشد به معنای این است که ایجاد نسخه جدید از پیام مجاز نیست و گره رله تنها می‌تواند پیام را به گره رله دیگری بسپارد و خود باید پیام را حذف کند.

گره رله متولی r_c با مشاهده هر گره رله بالقوه r_p اقدام به اجرای الگوریتم (۲) می‌نماید. الگوریتم (۲) تعیین می‌کند که آیا پیام برای گره r_p ارسال شود و در صورت ارسال تعداد نسخه مجاز جلورانی پیام ρ_p چند خواهد بود و همچنین پس از هر جلورانی آیا گره r_c مجاز به حمل پیام یا جلورانی نسخهٔ دیگری از پیام هست.

Algorithm 2 Forwarding and replication Method
Triggered when node r_c encounters node r_p

$\boldsymbol{\Delta}$: Set of communities
$\boldsymbol{r_c}$: Custodian relay
$\boldsymbol{S_c}$: Community that is assigned to relay r_c
$\boldsymbol{r_p}$: New potential relay
$\boldsymbol{m}$: Destination node
Input: $\boldsymbol{\Delta, S_c, m}$
If r_p.**isMemberOf**(S_c) & **Pr**$(r_c,m,S_c)<$ **Pr**(r_p,m,S_c)
  Forward message (ρ_c,Δ,S_c,m)
  Drop message
Elseif $\rho_c>1$
  $\Lambda=$ common communities between nodes r_p and m
  Sort Λ based on contact probability between r_p and m
  Foreach $j\in\Lambda$ **do**
    If $\Pr(r_p,m,j)>\varphi$ & $j\notin\Delta$
      Compute ρ_p
      $\rho_c=\rho_c-\rho_p$
      $\Delta\leftarrow\Delta+\{j\}$
      Forward message (ρ_p,Δ,j,m)
      Break **Foreach**
    EndIf
  EndFor
EndIf

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

گره متولی r_c در دو حالت اقدام به جلورانی پیام می‌کند. در حالت نخست وقتی که گره رله بالقوه r_p نیز عضو گروه اجتماعی S_c است و می‌تواند با احتمال بالاتری نسبت به گره متولی به سمت گروه اجتماعی S_c حرکت می‌کند و در آن گروه اجتماعی، گره مقصد m را ملاقات می‌کند. حالت دوم وقتی است که تعداد نسخه مجاز بزرگ‌تر از یک است ($\rho_c > 1$) و گره رله بالقوه r_p به سمت گروه اجتماعی j حرکت می‌کند و احتمال ملاقات گره مقصد در آن بیش از φ است و به عبارت دیگر گره مقصد عضو گروه اجتماعی j نیز است و درضمن با توجه به اطلاعات گره رله متولی، تاکنون نسخه‌ای از پیام به سمت گروه اجتماعی j ارسال نشده است ($j \notin \Delta$).

در حالت نخست گره متولی مسئولیت حمل پیام به سمت گروه اجتماعی S_c را به گره رله r_p محول می‌کند و پس از آن گره r_c مسئولیتی در قبال جلورانی پیام نخواهد داشت؛ زیرا پیام را به گرهی سپرده که با احتمال بیشتری به سمت گروه اجتماعی S_c حرکت می‌کند. در حالت دوم گره r_c پس از جلورانی پیام به r_p هنوز مسئولیت جلورانی پیام به سمت گروه اجتماعی S_c را بر عهده خواهد داشت. زیرا در این حالت گره رله r_p مسئولیت جلورانی، تعداد ρ_p نسخه از پیام به سمت گروه اجتماعی j را به عهده دارد و مسئولیت $\rho_c - \rho_p$ نسخه دیگر از پیام که باید به سمت گروه اجتماعی S_c حمل شوند، هنوز به عهده گره متولی r_c است. تعداد نسخه‌هایی از پیام که گره رله جدید r_p می‌تواند جلورانی کند وابسته به احتمال ملاقات مقصد به‌وسیلهٔ گره یادشده است. به عبارت دیگر هر چه احتمال ملاقات مقصد به‌وسیلهٔ r_p بیشتر باشد، آن‌گاه میزان ρ_p یا تعداد نسخه‌های پیام آن بیشتر خواهد بود. محاسبه ρ_p برای گره متولی جدید از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_p = \frac{\Pr(r_p, m, j)}{\Pr(r_c, m, j) + \Pr(r_p, m, j)} \times \rho_c \qquad (۱۴)$$

در الگوریتم پیشنهادی برای روش MCCAF هر گره رله با توجه به اطلاعات محلی خود فهرستی از گروه‌های اجتماعی دارای متولی Δ نگهداری می‌کند. این فهرست تنها براساس اطلاعات محلی گره‌های رله متولی فعلی و متولی قبلی تهیه شده، و هدف از آن جلوگیری از انتخاب بیش از یک گره رله مسئول حمل پیام به سمت هر گروه اجتماعی است.

۳-۴- تعیین گروه‌های اجتماعی آینده گره‌های رله

برای به‌دست‌آوردن وجود گروه‌های اجتماعی متفاوت برای گره متولی r_c و گره r_p باید حضور آنها در گروه‌های اجتماعی آتی با هم مقایسه شود و احتمال ملاقات در این گروه‌ها با گره مقصد نیز مد نظر باشد. به عبارتی اگر گره r_p امکان حضور در گروه اجتماعی‌ای داشته باشد که حضور گره متولی r_c در آن محتمل نباشد، و از طرفی امکان ملاقات با گره مقصد در آن گروه اجتماعی بالا باشد، گره r_p می‌تواند یک انتخاب مناسب به‌عنوان رله باشد. بنابراین می‌بایست گروه‌های اجتماعی که ممکن است گره r_p در آینده در آنها حضور یابد را یافت و درصورتی‌که دست‌کم یکی از این گروه‌های اجتماعی متفاوت از گروه‌های اجتماعی گره رله متولی باشد و احتمال ملاقات مقصد نیز در این گروه میزان قابل توجه‌ای باشد (بزرگتر از مقدار آستانه φ)، انتخاب گره به‌عنوان رله قابل بررسی است. بدین منظور می‌بایست امکان مقایسه گروه‌های اجتماعی از همدیگر را داشته باشیم. برای مقایسه گروه‌های اجتماعی از اطلاعات موقعیت مکانی، نقاط دسترسی و گره‌های مشاهده شده استفاده می‌شود.

الف) موقعیت مکانی متفاوت: اگر موقعیت مکانی دو گروه اجتماعی متفاوت باشد، آن‌گاه آن دو گروه متفاوت فرض می‌شوند، ولی ممکن است، تفسیر دو گره از موقعیت مکانی یک گروه اجتماعی اندکی متفاوت باشد. بدین منظور اگر فاصله موقعیت مکانی دو گره از مقدار σ بیشتر باشد، آن‌گاه فرض بر متفاوت‌بودن آنها است.

ب) نقطه دسترسی: اگر نقطه دسترسی قابل مشاهده در دو گروه اجتماعی i و j با هم متفاوت باشند، نشانه‌ای از تفاوت این دو گروه اجتماعی است.

ج) گره‌های مشاهده شده: همان‌گونه که در بخش‌های قبل نیز بیان شده است، گره‌های مشاهده شده در یک گروه اجتماعی اغلب یک الگوی تکراری دارد و از این نکته نیز می‌توان در مقایسه دو گروه اجتماعی استفاده کرد. برای مقایسه گره‌های مشاهده شده می‌توان از شباهت کسینوسی فهرست گره‌های مشاهده شده استفاده کرد.

۴- ارزیابی

این بخش به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی (MCCAF) و مقایسه آن با روش‌های محبوب در MSNs می پردازد. از

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

آنجا که روش پیشنهادی یک روش چندنسخه‌ای است، با روش‌های چندنسخه‌ای SimBet و BUBBLE Rap مقایسه می‌شود. روش SimBet به‌کمک مرکزیت و شباهت گرهای رله را انتخاب می‌کند و می‌توان ادعا کرد از معروف‌ترین و محبوب‌ترین روش‌های جلورانی شبکه‌های سیار اجتماعی است. روش BUBBLE Rap را به‌علت استفاده از گروه‌های اجتماعی و کارایی مناسب آن در میان دیگر روش‌ها انتخاب کرده‌ایم. همچنین MCCAF را با PER مقایسه می‌کنیم؛ زیرا این روش از مدل شبه‌مارکوف برای پیش‌بینی حرکت گره‌ها استفاده کرده است و از این جنبه روش PER بسیار شبیه به روش ما MCCAF است. روش PER احتمال ملاقات هر گره با هر گروه اجتماعی را تخمین می‌زند و پیام ها را به گره رله‌ای می‌دهد که بالاترین احتمال ملاقات گروه اجتماعی گره مقصد را دارد تحویل می‌دهد تا قبل از انقضا به مقصد تحویل داده شود. از طرف دیگر، مقایسه روش پیشنهادی با یک روش تک‌نسخه‌ای خالی از لطف نیست و نتایج ارزشمندی در مقایسه کارایی آنها نمایان می‌شود.

روش جلورانی پیام MCCAF برای انجام مرحلهٔ آموزش نیازمند یک مدل حرکتی با ساختار گروه اجتماعی است. از طرف دیگر باید داده اولیه کافی برای آموزش وجود داشته باشد. یک مدل حرکتی که دارای این ویژگی‌ها است MIT Reality Mining Dataset [45] می‌باشد، که شامل حرکت گره‌ها و ابزارهای بلوتوث در اطراف ۹۴ گوشی هوشمند نوکیا ۶۶۰۰ است. این گوشی‌ها، توسط کارکنان و دانشجویان در دانشگاه MIT از سپتامبر ۲۰۰۴ تا ژوئن ۲۰۰۵ حمل شده‌اند. مرحلهٔ آموزش HSMM در MCCAF و تنظیم مدل در دیگر روش‌ها توسط یک‌سوم داده‌های MIT Reality انجام گرفته و بقیه داده‌ها برای ارزیابی استفاده شده است. در آموزش HSMM واحد زمانی سی دقیقه تنظیم شده است.

برای دیگر روش‌ها نیز یک‌سوم از پیمایش برای مقداردهی اولیه و آموزش روش‌ها استفاده شده، سپس، پیام‌ها با نرخ λ در روز برای هر گره تولید و به‌صورت تصادفی یک گره مقصد به آنها منسوب شده است. برای جلوگیری از تولید پیام‌های بی‌معنا، از انتخاب نقش مبدأ و مقصد به گره‌هایی که به‌ندرت در شبکه حضور داشته‌اند، خودداری کرده‌ایم. مقدار پیش‌فرض زمان انقضا پیام TTL برای هر بسته بیست روز در نظر گرفته شده است و پس از رسیدن زمان انقضا، پیام حذف می‌شود. فرض بر این است که هر بسته دارای حجم 1KB و بافر موجود در هر گره θ KB است. مقدار پیش‌فرض λ و θ در ارزیابی به‌ترتیب 10 KB و 100 KB مقداردهی شده‌اند. وقتی که بافر یک گره پر شود، قدیمی‌ترین پیام‌ها حذف می‌شوند.

برای ارزیابی از سه معیار استفاده شده است: نرخ دریافت موفقیت‌آمیز، متوسط تأخیر، هزینه جلورانی. نرخ دریافت موفقیت‌آمیز بیانگر درصدی از پیام‌ها است، که به‌صورت موفقیت‌آمیز به مقصد تحویل داده می‌شوند. متوسط تأخیر براساس تأخیر تجربه‌شده در پیام‌هایی که به‌صورت موفقیت‌آمیز به مقصد تحویل داده شده‌اند، محاسبه می‌شود. هزینهٔ جلورانی اشاره به متوسط تعداد عملیات جلورانی برای هر پیام دارد.

۴-۱- کارایی براساس نرخ های متفاوت تولید بسته

در ابتدا کارایی براساس نرخ تولید پیام λ بررسی می‌شود. این نرخ بین ۴ تا ۲۰ متغیر خواهد بود. در ادامه نرخ دریافت، متوسط تأخیر و هزینه جلورانی برای روش‌های مختلف بررسی می‌شوند.

۴-۱-۱- نرخ دریافت موفقیت‌آمیز

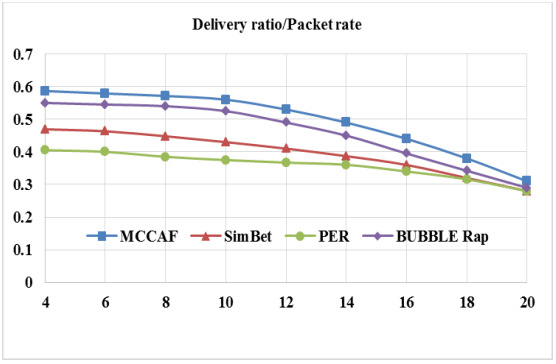
شکل (۲) نرخ دریافت برای چهار روشی را که در ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در سناریوها با نرخ‌های متفاوت تولید پیام نشان می‌دهد. در شکل مشهود است، که نرخ‌های دریافت به‌صورت MCCAF>BUBBLE Rap>SimBet>PER هستند.

در نخستین نگاه مشخص است که روش‌ها یا الگوریتم‌هایی که به‌صورت چندنسخه‌ای هستند، نرخ دریافت بالاتری نسبت به روش تک‌نسخه‌ای PER دارند؛ زیرا الگوریتم‌های چندنسخه‌ای استفاده بیشتری از حرکت گره‌ها در مسیریابی پیام‌ها می‌برند و چندین نسخه از پیام را در شبکه ارسال می‌کنند و به همین علت شانس دریافت موفقیت‌آمیز پیام در آن‌ها به مراتب بالاتر از روش‌های تک‌نسخه‌ای است. شکل (۲) به‌وضوح نشان می‌دهد که نرخ دریافت روش پیشنهادی از دیگر روش‌ها بالاتر و کمترین فاصله میان روش پیشنهادی و روش‌های رقیب با روش BUBBLE Rap است. در تشریح این نتیجه می‌توان به شیوه کارکرد روش‌های رقیب اشاره کرد. روش SimBet با توجه به شباهت و مرکزیت اقدام به انتشار پیام می‌کند؛ درحالی‌که مقدار مرکزیت و شباهت در گروه‌های اجتماعی مختلف متفاوت است وBUBBLE Rap سعی در رفع این مشکل دارد. بدین صورت که اقدام به محاسبه مرکزیت در

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

گروه‌های اجتماعی مختلف می‌کند؛ امّا، BUBBLE Rap به این مسأله که آیا گره مقصد در یک گروه اجتماعی خاص حضور خواهد یافت، دقت نمی‌کند و ممکن است، پیام را به گرهی تحویل دهد که در یک گروه اجتماعی دارای مرکزیت بالایی باشد، ولی گره مقصد در آن گروه اجتماعی حضور نیابد. روش پیشنهادی MCCAF به گروه‌های اجتماعی که یک گره در آنها حضور می‌یابد، توجه می‌کند و در صورتی پیام را به گرهی ارسال می‌کند که آن گره با احتمال بالایی در گروه‌های اجتماعی گره مقصد حضور یابد.



(شکل-۲): تاثیر نرخ تولید پیام بر نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام

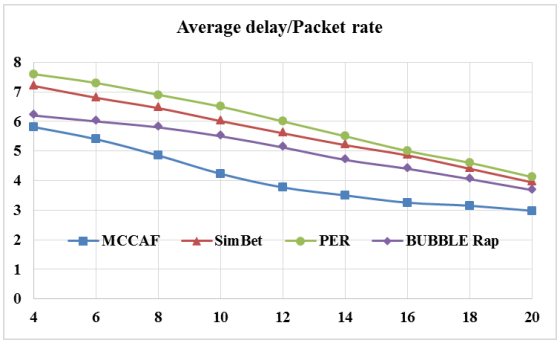
(Figure-2): Effect of packet rate on delivery ratio

نکته‌ای که در تمام روش‌ها وجود دارد، کاهش نرخ دریافت با افزایش نرخ تولید پیام است. در شبکه‌های سیار اجتماعی تعداد گره‌هایی که اقدام به حرکت میان گروه‌های اجتماعی می‌کنند، محدود است و افزایش نرخ تولید پیام باعث افزایش فشار بر این گره‌ها و درنتیجه گلوگاه‌شدن این گره‌ها می‌شود. به‌عبارتی افزایش نرخ تولید پیام باعث پرشدن بافر گره‌ها و هم‌چنین حذف پیام‌های قدیمی می‌شود که این امر بر روی نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام‌ها تأثیر منفی می‌گذارد.

۴-۱-۲- متوسط تأخیر

شکل (۳) نشان‌دهندهٔ متوسط تأخیر روش‌های مورد بررسی براساس نرخ تولید پیام است. این شکل نشان می‌دهد که متوسط تأخیر روش‌های مختلف به‌ترتیب MCCAF<BUBBLE Rap<SimBet<PER است. کمترین تأخیر متعلق به روش پیشنهادی و بیشترین تأخیر متعلق به روش PER بوده است. به عبارت دیگر روش‌های چندنسخه‌ای همگی متوسط تأخیر کمتری نسبت به روش تک‌نسخه‌ای PER دارند. روش پیشنهادی MCCAF سعی می‌کند که در تمام گروه‌های اجتماعی که محتمل به حضور گره مقصد هستند، یک نسخه از پیام را ارسال کرده باشد و در صورت حضور گره مقصد در آن‌ها نسبت به تحویل پیام اقدام کند. به همین علت متوسط تأخیر در این روش از دیگر روش‌ها کمتر شده است.

از طرف دیگر تمامی روش‌ها نسبت به افزایش نرخ تولید پیام با کاهش متوسط تأخیر مواجه می‌شوند. این کاهش تأخیر در کنار کاهش نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام‌ها جالب است. با افزایش نرخ تولید پیام، بافر گره‌های رله سریع‌تر پر می‌شود و سپس گره‌ها اقدام به حذف پیام‌هایی می‌کنند که قدیمی‌تر هستند. این فرآیند باعث می‌شود که شانس پیام‌های قدیمی‌تر برای تحویل به مقصد کاهش یابد. به عبارتی، این فرآیند باعث می‌شود که با افزایش نرخ تولید پیام، امکان تحویل پیام‌ها به مقصد محدود به یک بازه زمانی کوتاه‌تر شود و پس از آن با حذف از بافر گره‌های رله عملا امکان تحویل آنها به مقصد وجود نداشته باشد و درنتیجه متوسط تأخیر نیز کاهش یابد.



(شکل-۳): تأثیر نرخ تولید پیام بر متوسط تأخیر

(Figure-3): Effect of packet rate on average delay

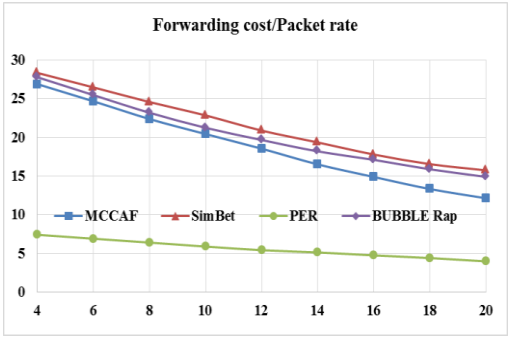
۴-۱-۳- هزینه جلورانی

شکل (۴) هزینه جلورانی براساس نرخ تولید پیام را نشان می‌دهد. آنچه از شکل مشخص است، هزینه جلورانی در روش‌های مختلف به‌صورت PER<MCCAF<BUBBLE Rap<SimBet است. کمترین هزینه متعلق به PER است، که یک الگوریتم تک‌نسخه‌ای است و کمترین مورد جلورانی در آن اتفاق می‌افتد. در روش PER، تنها زمانی یک پیام برای گره رله بعدی ارسال می‌شود که احتمال ملاقات رله با مقصد از گره متولی پیام بیشتر باشد و اغلب پس از چند مورد جلورانی پیام تحویل گره رله‌ای می‌شود که بالاترین احتمال ملاقات مقصد را دارد و پس از آن جلورانی دیگری برای پیام اتفاق نمی‌افتد. هزینه جلورانی روش‌های دیگر تاحدودی به هم نزدیک است که بخشی از این شباهت بر اثر ذات چندنسخه‌ای‌بودن این روش‌ها

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

است. با وجود شباهت در هزینه جلورانی روش‌های چندنسخه‌ای، هزینه جلورانی روش پیشنهادی از دیگر روش‌ها پایین‌تر است. علت این امر شیوه انتخاب گره‌های رله در روش پیشنهادی است. در روش پیشنهادی انتخاب گره رله جدید بسیار سخت‌گیرانه و هدفمند است. به عبارتی، گره رله جدید در صورتی نسخه‌ای از پیام را دریافت می‌کند که دارای گروه اجتماعی متفاوت با گره رله فعلی باشد و احتمال ملاقات مقصد در این گروه اجتماعی از مقدار آستانه نیز بیشتر باشد و در سازوکار جلورانی و جذف تنها به شرط احتمال ملاقات بالاتر از گره رله متولی و در گروه‌های اجتماعی یکسان انجام می‌گیرد؛ بنابراین این سازوکار انتخاب رله سخت‌گیرانه باعث کاهش موارد جلورانی می‌شود.



(شکل-۴): تاثیر نرخ تولید پیام بر هزینه جلورانی
(Figure-4): Effect of packet rate on forwarding cost

هزینه جلورانی در تمامی روش‌ها با افزایش نرخ تولید پیام کاهش می‌یابد. علت اصلی این امر حذف‌شدن پیام‌های قدیمی به‌علت پرشدن حافظه بافر گره‌های رله است. البته گفتنی است که کمترین تأثیر افزایش نرخ تولید پیام بر روی روش PER است که از تک‌نسخه‌ای‌بودن آن ناشی می‌شود.

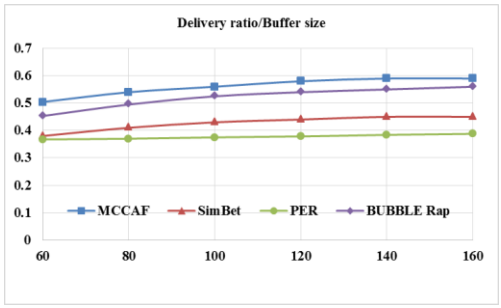
۴-۲- تأثیر اثر میزان بافر بر کارایی

در این بخش به بررسی اثر اندازه بافر بر روی کارایی روش پیشنهادی و روش‌های رقیب می‌پردازیم. شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) به‌ترتیب اثر بافر بر روی نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام، متوسط تأخیر و هزینه جلورانی را نشان می‌دهند.

۴-۲-۱- نرخ دریافت موفقیت‌آمیز

همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد، اثر افزایش بافر بر روی نرخ دریافت برای تمامی روش‌ها مثبت بوده است.

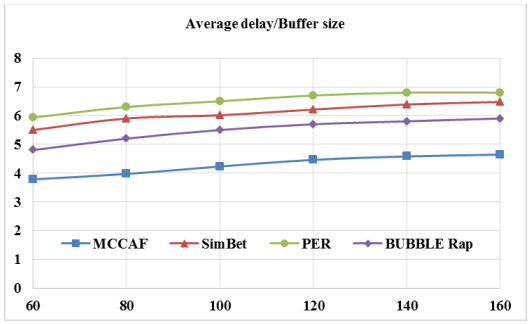
علت این امر وجود فضای ذخیره برای پیام‌ها به‌مدت طولانی‌تر است که باعث می‌شود فرصت‌های بیشتری برای جلورانی پیام‌ها به‌وجود بیاید. بیشترین نرخ تحویل موفقیت‌آمیز پیام همانند قبل متعلق به MCCAF و کمترین متعلق به PER بوده است که علت آن در بخش قبل بیان شد.



(شکل-۵): تاثیر اندازه بافر بر نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام
(Figure-5): Effect of buffer size on delivery ratio

۴-۲-۲- متوسط تأخیر

تأثیر میزان بافر بر روی متوسط تأخیر در شکل (۶) نمایش داده شده است. اثر اندازه بافر بر روی متوسط تأخیر همانند قبل به‌صورت MCCAF<BUBBLE Rap<SimBet<PER است که همان علت‌های بیان‌شده در قبل است.



(شکل-۶): تأثیر اندازه بافر بر متوسط تأخیر
(Figure-6): Effect of buffer size on average delay

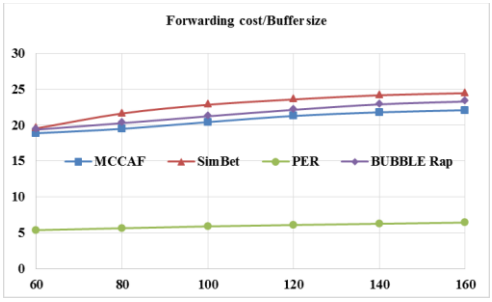
افزایش بافر باعث افزایش متوسط تأخیر در تمامی روش‌ها شده است. علت این امر با توجه به افزایش موقعیت‌های جلورانی و تحویل پیام به مقصد با افزایش میزان بافر قابل بیان است. به عبارتی، با افزایش میزان حافظه پیام‌ها به مدت بیشتری در بافر گره‌های رله می‌مانند که این افزایش زمان باعث موقعیت‌های تحویل بیشتر پیام‌ها و بالطبع افزایش متوسط تأخیر می‌شود.

۴-۲-۳- هزینه جلورانی

تأثیر اندازه بافر بر هزینه جلورانی در شکل (۷) نمایش داده شده است. ترتیب روش‌ها براساس هزینه جلورانی با

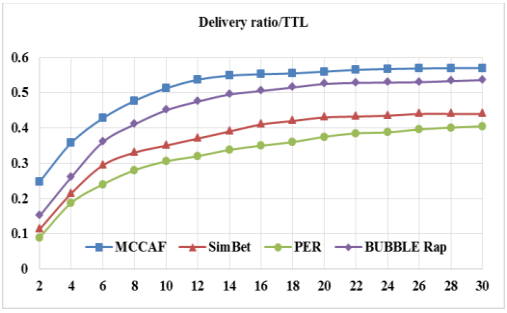
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

تغییر اندازه بافر به‌صورت PER<MCCAF<BUBBLE Rap<SimBet است. علت این ترتیب همانند علت بیان‌شده برای هزینه جلورانی با تغییر نرخ تولید پیام است. با افزایش بافر هزینه جلورانی برای تمامی روش‌ها اندکی افزایش را نشان می‌دهد. این افزایش هزینه به‌علت طولانی‌شدن زمان حضور پیام‌های در بافر گره‌های رله و همان‌گونه که درقبل بیان شد افزایش موقعیت‌های جلورانی است. این موقعیت‌های جلورانی به‌وجود آمده خود علت افزایش هزینه خواهند شد.



(شکل-۷): تأثیر اندازه بافر بر هزینه جلورانی

(Figure-7): Effect of buffer size on forwarding cost



(شکل-۸): تأثیر زمان انقضا پیام بر نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام

(Figure-8): Effect of TTL on delivery ratio

۴-۳- اثر TTL بر کارایی

افزایش TTL باعث به‌وجودآمدن فرصت‌های جلورانی بیشتر و نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام‌ها خواهد شد. این افزایش نرخ دریافت موفقیت‌آمیز در کنار افزایش تأخیر و هزینه جلورانی در تمامی روش‌ها خواهد بود. شکل (۸) اثر TTL بر روی نرخ دریافت موفقیت‌آمیز پیام را نشان می‌دهد. به‌علت کمبود جا و مشابه‌بودن نتایج با دیگر نمودارها از قراردادن نمودارهای متوسط تأخیر و هزینه جلورانی براساس TTL صرف نظر شده است.

۵- نتیجه‌گیری

جلورانی پیام در شبکه‌های سیار اجتماعی کاربردهای مختلفی دارد. در این مقاله ما یک روش جدید به نام MCCAF ارائه دادیم که جلورانی پیام را در یک روش چندنسخه‌ای انجام می‌دهد. در این روش برای بهره‌برداری بهتر از حرکت گره‌ها، سعی در انتخاب گره‌های رله برای گروه‌های اجتماعی مختلف کرده‌ایم، به‌گونه‌ای که پیام برای تمام گروه‌های اجتماعی که احتمال حضور گره مقصد در آنها وجود دارد، ارسال شود. در MCCAF، ما از HSMM برای یافتن احتمال‌های گذار میان گروه‌های اجتماعی و احتمال‌های ملاقات‌های رله-مقصد استفاده کرده‌ایم. با استفاده از این احتمالات، یک روش جلورانی جدید و ابتکاری ارائه شده است که به‌کمک آن تعداد نسخه‌هایی از یک پیام را که یک گره رله مجاز به انتشار آن‌ها است، مشخص می‌کنیم. گره‌های رله با احتمال بالاتر ملاقات مقصد، مجاز به انتشار نسخه‌های بیشتر خواهند بود، این امر باعث افزایش کارایی روش پیشنهادی می‌شود. ارزیابی‌های مبتنی بر شبیه‌سازی نشان می‌دهد، که MCCAF دارای کارایی بهتری نسبت به روش‌های مرسوم در زمینه‌های نرخ دریافت، تأخیر و هزینه جلورانی است.

۶- مراجع 6- References

[1] H. Zhou, H. Wang, N. Wang, D. Li, Y. Cao, X. Li, and et al., "Exploiting Mobile Social Networks from Temporal Perspective: A Survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 180818-180834, 2019.

[2] J. Fan, J. Chen, Y. Du, W. Gao, J. Wu, and Y. Sun, "Geocommunity-based broadcasting for data dissemination in mobile social networks," *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 24, pp. 734-743, 2013.

[3] D. Wu, B. Liu, Q. Yang, and R. Wang, "Social-aware cooperative caching mechanism in mobile social networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 149, pp. 1-12, 2020.

[4] M. M. Qirtas, Y. Faheem, and M. H. Rehmani, "A cooperative mobile throwbox-based routing protocol for social-aware delay tolerant networks," *Wireless Networks*, vol. 26, pp. 3997-4009, 2020.

[5] T. Qiu, B. Chen, A. K. Sangaiah, J. Ma, and R. Huang, "A Survey of Mobile Social Networks: Applications, Social Characteristics, and Challenges," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, pp. 3932-3947, 2018.

[6] F. Li, H. Jiang, H. Li, Y. Cheng, and Y. Wang, "SEBAR: Social-Energy-Based Routing for Mobile Social Delay-Tolerant Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, pp. 7195-7206, 2017.

[7] X. Deng, L. Chang, J. Tao, and J. Pan, "Reducing the Overhead of Multicast Using Social Features in Mobile Opportunistic

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 50095-50108, 2019.

[8] H. Zhang, Z. Chen, J. Wu, and K. Liu, "FRRF: A Fuzzy Reasoning Routing-Forwarding Algorithm Using Mobile Device Similarity in Mobile Edge Computing-Based Opportunistic Mobile Social Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35874-35889, 2019.

[9] S. Abdolhosseinzadeh and N. Derakhshanfard, "CTR: Carry Time-Based Routing for Increasing Delivery Ratio in Mobile Social Networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 110, pp. 1271-1282, 2020.

[10] J. Xu, J. X. Xiang, X. Chen, F. B. Liu, and J. J. Yu, "ODMBP: Behavior Forwarding for Multiple Property Destinations in Mobile Social Networks," *Mobile Information Systems*, vol. 2016, pp. 1-11, 2016.

[11] Weixiong Rao, Kai Zhao, Yan Zhang, Pan Hui, and Sasu Tarkoma, "Towards Maximizing Timely Content Delivery in Delay Tolerant Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 14, pp. 755-769, 2015.

[12] Y. Zhao, W. Song, and Z. Han, "Social-Aware Data Dissemination via Device-to-Device Communications: Fusing Social and Mobile Networks with Incentive Constraints," *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 12, pp. 489-502, 2019.

[13] Y. Li, D. Jin, P. Hui, and S. Chen, "Contact-Aware Data Replication in Roadside Unit Aided Vehicular Delay Tolerant Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 15, pp. 306-321, 2016.

[14] J. Fan, J. Chen, Y. Du, P. Wang, and Y. Sun, "Delque: A socially aware delegation query scheme in delay-tolerant networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 60, pp. 2181-2193, 2011.

[15] K. Chen, H. Shen, and H. Zhang, "Leveraging social networks for p2p content-based file sharing in disconnected manets," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 13, pp. 235-249, 2014.

[16] Q. Wang, H. Yang, Q. Wang, W. Huang, and B. Deng, "A deep learning based data forwarding algorithm in mobile social networks," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, vol. 12, pp. 1638-1650, 2019.

[17] A. Lindgren, A. Doria, and O. Schelén, "Probabilistic routing in intermittently connected networks," *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, vol. 7, pp. 19-20, 2003.

[18] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, "MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks," in INFOCOM, 2006, pp. 1-11.

[19] Q. Yuan, I. Cardei, and J. Wu, "An efficient prediction-based routing in disruption-tolerant networks," *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 23, pp. 19-31, 2012.

[20] E. Talipov, Y. Chon, and H. Cha, "Content sharing over smartphone-based delay-tolerant networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 12, pp. 581-595, 2013.

[21] K. Chen and H. Shen, "DTN-FLOW: inter-landmark data flow for high-throughput routing in DTNs," IEEE/ACM Trans. on Networking (TON), vol. 23, pp. 212-226, 2015.

[22] A. Mei, G. Morabito, P. Santi, and J. Stefa, "Social-Aware Stateless Routing in Pocket Switched Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, pp. 252-261, 2015.

[23] K. Chen and H. Shen, "Greedyflow: Distributed greedy packet routing between landmarks in DTNs," *Ad Hoc Networks*, vol. 83, pp. 168-181, 2019.

[24] Y. Zhu, B. Xu, X. Shi, and Y. Wang, "A survey of social-based routing in delay tolerant networks: positive and negative social effects," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, pp. 387-401, 2013.

[25] T. Jing, Y. Zhang, Z. Li, and Y. Huo, "DRL: A Multi-factor Mobility Model in Mobile Social Networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 95, pp. 1693-1711, 2017.

[26] L. Guardalben, T. Gomes, P. Salvador, and S. Sargento, "Socially-Aware Multimedia Dissemination in Personal Mobile Networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 97, pp. 2295-2328, 2017.

[27] S. Wang, Y. Zhang, H. Wang, Z. Huang, X. Wang, and T. Jiang, "Large Scale Measurement and Analytics on Social Groups of Device-to-Device Sharing in Mobile Social Networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 23, pp. 203-215, 2018.

[28] X. Zhang and G. Cao, "Proactively Placing Static Relays With Social-Link Awareness in Mobile Social Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, pp. 1903-1915, 2019.

[29] S.-Z. Yu, "Chapter 4 - Implementation of HSMM Algorithms," *in Hidden Semi-Markov Models*, S.-Z. Yu, Ed., ed Boston: Elsevier, 2016, pp. 85-101.

[30] E. M. Daly and M. Haahr, "Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant MANETs," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 8, pp. 606-621, 2009.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]

[31] P. Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, "BUBBLE rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 10, pp. 1576-1589, 2011.

[32] J. Zhang, H. Huang, C. Yang, J. Liu, Y. Fan, and G. Yang, "Destination-aware metric based social routing for mobile opportunistic networks," *Wireless Networks*, vol. 12, pp. 1163-1175, 2019.

[33] J. Ryu, J. Park, J. Lee, and S.-B. Yang, "Community-based diffusion scheme using Markov chain and spectral clustering for mobile social networks," *Wireless Networks*, vol. 25, pp. 875-887, 2019.

[۳۴] ع. اسحاق پور، م. صالحی و و. رنجبر، "ارائه یک مدل پیش‌بینی یال مبتنی بر شباهت ساختاری و هوموفیلی در شبکه‌های اجتماعی،" فصل‌نامه پردازش علائم و داده‌ها، جلد ۱۶، شماره ۴، صفحه ۵۸-۴۵، ۱۳۹۸

[34] A. Eshaghpoor, M. Salehi, and V. Ranjbar, "Providing a Link Prediction Model based on Structural and Homophily Similarity in Social Networks," *Signal and Data Processing*, vol. 16, pp. 45-58, 2020.

[35] Y. Yan, Z. Chen, J. Wu, L. Wang, K. Liu, and P. Zheng, "An Effective Transmission Strategy Exploiting Node Preference and Social Relations in Opportunistic Social Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 58186-58199, 2019.

[36] K. Gu, D. Liu, and K. Wang, "Social Community Detection Scheme Based on Social-Aware in Mobile Social Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 173407-173418, 2019.

[37] M. Ruan, X. Chen, and H. Zhou, "Centrality prediction based on K-order Markov chain in Mobile Social Networks," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, vol. 12, pp. 1662-1672, 2019.

[38] C. Boldrini and A. Passarella, "HCMM: Modelling spatial and temporal properties of human mobility driven by users' social relationships," *Computer Communications*, vol. 33, pp. 1056-1074, 2010.

[39] S. Kosta, A. Mei, and J. Stefa, "Large-scale synthetic social mobile networks with SWIM," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 13, pp. 116-129, 2014.

[40] A.-L. Barabasi, "The origin of bursts and heavy tails in human dynamics," *Nature*, vol. 435, pp. 207-211, 2005.

[41] M. E. J. Newman, "Modularity and community structure in networks," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, pp. 8577-8582, 2006.

[42] J. G. Proakis, M. Salehi, and G. Bauch, Contemporary Communication Systems Using MATLAB: Cengage Learning, 2012.

[43] B. Ravaei, M. Sabaei, H. Pedram, and S. Valaee, "Community-aware single-copy content forwarding in Mobile Social Network," *Wireless Networks*, vol. 24, pp. 2705-2721, 2018.

[44] H. Abu-Ghazaleh and A. S. Alfa, "Application of mobility prediction in wireless networks using markov renewal theory," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 59, pp. 788-802, 2010.

[45] N. Eagle and A. Pentland, "Reality mining: sensing complex social systems," *Personal Ubiquitous Comput.*, vol. 10, pp. 255-268, 2006.

بهمن روایی دوره دکترای خود را در رشته مهندسی کامپیوتر در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه امیرکبیر دریافت کردند و در همان سال به‌عنوان عضو هیأت علمی به دانشگاه یاسوج پیوستند؛ درضمن ایشان در یک دوره پژوهشی به‌عنوان فرصت مطالعاتی در دانشگاه تورنتو کشور کانادا حضور داشتند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبکه‌های کامپیوتری، داده‌کاوی و شبکه‌های اجتماعی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ravaei@yu.ac.ir

کیوان رحیمی‌زاده کارشناسی مهندسی کامپیوتر را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه شیراز، کارشناسی ارشد مهندسی شبکه‌های رایانه‌ای را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و دکترای معماری سامانه‌های رایانه‌ای را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه علم و صنعت دریافت کرده است. وی هم‌اکنون عضو هیأت علمی گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه یاسوج است. حوزه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان شامل مدل‌سازی و ارزیابی سامانه‌های رایانه‌ای، محاسبات ابری، تحلیل داده‌های کلان و شبکه‌های رایانه‌ای است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

RahimiZadeh@yu.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.3.1]